ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.00410v1

禾王草与奶牛常用粗饲料瘤胃降解特性的对比研究

马 健[1,2] 刘艳芳[1] 杜 云[2] 李胜利[2*] 余 雄[1*]

（1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业大学动物科技学院，北京 100193）

摘 要：本试验旨在研究 2 种刈割高度的禾王草干草和青贮、羊草干草、苜蓿干草以及全株玉米青贮共 7 种粗饲料的瘤胃降解特性。选用 4 头装有永久性瘤胃瘘管的荷斯坦奶牛为试验动物，采用尼龙袋法评定其干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）的 72 h 瘤胃降解率。结果表明：1）禾王草干草 CP 含量显著高于羊草干草（P<0.05），NDF 含量显著低于羊草干草(P<0.05)；禾王草青贮 CP 和 NDF 含量显著高于全株玉米青贮(P<0.05)。2）苜蓿干草 DM 有效降解率最高，与依次降低的全株玉米青贮、2.0 m 禾王草青贮、2.5 m 禾王草青贮、2.0 m 禾王草干草、2.5 m 禾王草干草和羊草干草差异显著（P<0.05），羊草干草的 DM 有效降解率显著低于其他粗饲料（P<0.05）；CP 有效降解率以苜蓿干草最高，与 2.0 m 禾王草青贮差异不显著（P>0.05），显著高于依次降低的 2.5 m 禾王草青贮、2.0 m 禾王草干草、全株玉米青贮、2.5 m 禾王草干草和羊草干草（P<0.05）；全株玉米青贮与禾王草青贮的 NDF 有效降解率差异不显著（P>0.05），而显著高于其他粗饲料（P<0.05）；禾王草青贮 72 h 时 ADF 有效降解率显著高于其他粗饲料（P<0.05）。由此可知，禾王草有作为奶牛粗饲料的潜力，禾王草经青贮后可以保存营养成分，并可以提高营养成分的瘤胃利用效率。

关键词：禾王草；营养成分；尼龙袋技术；瘤胃降解率

中图分类号：S816.5

粗饲料主要包括干草和青贮饲料，在奶牛饲粮中通常占 40%～70%，为奶牛提供大部分营养物质[1]。近年来，我国畜牧业发展迅速，饲料资源短缺成为制约我国畜牧业发展的直接因素，寻找新的粗饲料资源对我国畜牧业发展具有重大意义。禾王草（*Pennisetum* sp.）属狼

收稿日期：2015-10-15

基金项目：现代农业（奶牛）产业技术体系建设专项资金（CARS-37）

作者简介：马 健（1989—），男，山东济宁人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: Crazyma0411@163.com

*通信作者：李胜利，教授，博士生导师，E-mail: lisheng0677@163.com；余 雄，教授，博士生导师，E-mail: yuxiong8763601@126.com

尾草属，禾本科牧草，产量高，抗逆性强，营养价值高，粗蛋白质（CP）和糖分含量高，适宜在热带、亚热带和温带生长的优质刈割型牧草，适合制作干草和青贮，禾王草干草 CP 含量高达 13%，禾王草鲜草制作青贮后，色泽青绿，酸味浓，营养成分损失不大。

反刍动物饲料营养价值评定的一个重要指标就是饲料中的营养物质在瘤胃中的降解特性[2-3]，干物质（DM）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）在瘤胃中的降解特性反映饲料消化的难易程度，尼龙袋技术是现在通用的评定反刍动物饲料降解率的主要方法，国内外许多研究采用尼龙袋技术评定反刍动物常用粗饲料的瘤胃降解规律[4-6]。本研究采用尼龙袋技术研究禾王草干草和青贮的营养成分在瘤胃中的降解规律，为禾王草在反刍动物生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

禾王草种植于河北省石家庄市鹿泉市李村镇郑村，待禾王草生长到株高 2.0 和 2.5 m 左右时刈割，株高 2.0 和 2.5 m 的鲜草整株切碎至 3 cm 长后，分别自然晾干制作干草和打捆装入青贮袋内制作青贮；羊草干草、苜蓿干草和全株玉米青贮取自晋州周家庄农牧业有限公司。将取得的试验样品在 65 ℃烘箱中烘干 48 h 后制成风干样，用微型粉碎机粉碎，一份过 1 mm 分析筛，用于营养成分测定；一份过 2 mm 分析筛，用于瘤胃降解试验。

1.2 试验设计

选择 4 头体况良好，体重（550±30） kg、产奶量（15±0.4） kg，胎次相近的装有永久瘤胃瘘管的泌乳后期中国荷斯坦奶牛。准确称取已制成风干样的样品 3 g 于尼龙袋底部，每个样品 4 个重复，每头牛每个时间点设 4 个平行，每 4 个袋夹在 1 根长约 50 cm 的软性塑料管上，塑料软管上端系在粗尼龙绳上，尼龙绳固定在瘤胃瘘管的外端。将尼龙袋于晨饲前 1 h，经瘘管全部投入瘤胃中，按“同时投入，依次取出”的原则，分别于投入后 4、8、16、24、36、48 和 72 h 依次取出，取出的尼龙袋用自来水冲洗，直至滤出水澄清为止，放入 65 ℃恒温干燥箱内烘干至恒重，称重记录，用于分析测定。

1.3 试验饲粮与饲养管理

试验在北京中地种畜良种奶牛科技园进行，试验奶牛根据《奶牛营养需要和饲养标准》配制试验饲粮。每天饲喂 2 次，自由饮水。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

chinaXiv:201711.00410v1

chinaXiv:201711.00410v1

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
羊草干草 Dried Chinese wildrye	5.38
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	25.51
燕麦草 Oat hay	5.38
全株玉米青贮 Whole corn silage	23.48
玉米 Corn	2.46
小麦 Wheat	1.26
过瘤胃脂肪酸 Rumen-pass fatty acid	1.20
酵母粉 Yeast powder	0.20
脱霉剂 Mycotoxin removement agent	0.06
食盐 NaCl	0.31
石粉 Limestone	0.32
碳酸氢钙 $Ca(HCO_3)_2$	0.34
小苏打 $NaHCO_3$	0.65
碳酸氢钾 $KHCO_3$	0.27
预混料 Premix[1)]	0.32
氧化镁 MgO	0.12
大豆粕 Soybean meal	6.09
膨化大豆 Extruded soybean	3.56
糖蜜 Molasses beet	3.50
压片玉米 Falked corn	13.32
大豆皮 Soybean hull	3.00
棉籽 Cottonseed	3.27
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
产奶净能 NE_L/(MJ/kg)	5.48
粗蛋白质 CP	14.51
粗脂肪 EE	3.40
中性洗涤纤维 NDF	40.03
酸性洗涤纤维 ADF	26.39
钙 Ca	0.54
磷 P	0.38

1) 每千克预混料含有 One kilogram of premix contains the following：VA 1 000 000 IU，VD_3 280 000 IU，VE 10 000 IU，烟酸 nicotinic acid 1 000 mg，Cu (as copper sulfate) 3 250 mg，Mn 4 800 mg，Zn 12 850 mg，I 140 mg，Se 150 mg，Co 110 mg。

2) 产奶净能为计算值，其余营养水平为实测值。NE_L is a calculated value, while other nutrient levels are

measured values.

1.4 检测指标与方法

尼龙袋中残余物经粉碎机粉碎过 1 mm 分析筛后，测定样品 DM、CP、NDF 和 ADF 含量。试验测定方法参照张丽英[7]的方法，计算相对饲用价值（RFV）。

1.5 计算方法

1.5.1 实时降解率的计算

参考陈艳等[5]试验中采用的公式计算方法，计算被测样品某营养成分某时间点的实时降解率。

1.5.2 降解参数和有效降解率的计算

根据 Ørskov 等[8]提出的瘤胃降解参数模型：

$$P=a+b(1-e^{-ct});$$

$$ED=a+b\times c/(k+c)。$$

式中：t 为饲料在瘤胃中的滞留时间（h）；P 为 t 时刻被测样品某营养成分的实时降解率（%）；a 为被测样品营养成分的快速降解部分（%）；b 为慢速降解部分（%）；c 为 b 部分的降解速率（%/h）；ED 为待测样品某营养成分有效降解率（%）；k 为待测样品某营养成分的瘤胃外流速率（%/h），参考宫福臣等[9]k 取 0.031%/h。

1.6 统计分析

数据用 Excel 整理，采用 SAS 9.2 软件 NLIN 程序计算 a、b、c 值，数据用 ANOVA 进行单因素方差分析，并用 Duncan 氏法进行多种比较，结果用平均值±标准差表示，以 $P<0.05$ 作为差异显著性的判断标准

2 结果与分析

2.1 常规营养成分

由表 2 可知，不同粗饲料的营养成分存在很大差异。在干草中：苜蓿干草的 CP 含量显著高于其他干草（$P<0.05$），2.0 和 2.5 m 禾王草干草 CP 含量差异不显著（$P>0.05$），但均显著高于羊草干草（$P<0.05$）；除苜蓿干草外，其他干草 NDF 含量均高于 60%，羊草干草显著高于其他干草（$P<0.05$）；2.5 m 禾王草干草和羊草干草在 ADF 含量上差异不显著（$P>0.05$），显著高于 2.0 m 禾王草和苜蓿干草（$P<0.05$）；苜蓿干草的 RFV 显著高于其他干草（$P<0.05$），

chinaXiv:201711.00410v1

ChinaXiv合作期刊

2.0 m 禾王草干草 RFV 比羊草干草高 13.47%。在青贮中：全株玉米青贮 DM 含量显著高于禾王草青贮（P<0.05）；2.0 和 2.5 m 禾王草青贮 CP 和 NDF 含量差异不显著（P>0.05），显著高于全株玉米青贮（P<0.05）；2.5 m 禾王草青贮 ADF 含量显著高于其他青贮（P<0.05）。

表 2 7 种粗饲料的常规营养成分（干物质基础）

Table 2 Common nutrient composition of 7 roughages (DM basis) %

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	粗灰分 Ash	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	相对饲用价值 RFV
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	92.23±0.04^{b}	13.33±0.20^{b}	12.00±0.13^{a}	62.46±0.93^{c}	35.15±0.56^{b}	91.64±1.98^{d}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	92.89±0.28^{ab}	12.99±0.23^{bc}	10.39±0.19^{d}	64.06±0.96^{b}	37.90±0.75^{a}	86.24±2.13^{e}
羊草干草 Dried Chinese wildrye	93.03±0.08^{a}	6.00±0.11^{f}	5.79±0.22^{f}	69.19±0.47^{a}	37.02±0.20^{a}	80.76±0.34^{f}
苜蓿干草 Dried Alfalfa hay	92.54±0.05^{ab}	19.07±0.13^{a}	11.03±0.19^{c}	46.48±0.05^{f}	31.01±0.14^{d}	129.57±0.33^{a}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	20.34±0.89^{d}	12.95±0.51^{cd}	11.37±0.10^{b}	53.07±0.17^{d}	32.73±0.72^{c}	111.14±1.33^{b}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	20.29±0.89^{d}	12.17±0.28^{d}	10.91±0.13^{c}	53.92±0.45^{d}	34.28±0.92^{b}	107.31±2.14^{c}
全株玉米青贮 Whole corn silage	27.77±0.37^{c}	8.41±0.04^{e}	6.40±0.03^{e}	47.90±0.54^{e}	29.31±1.00^{e}	128.34±2.89^{a}

同列数据肩标不同字母表示差异显著（P<0.05），相同字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same column, values with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 DM 降解率

由表 3 可知，在干草中：苜蓿干草的 DM 降解率在各个时间点上均显著高于其他干草（P<0.05），24 h 时 DM 降解率就达到 60%以上；2.0 m 禾王草干草在 72 h 内的 DM 降解率仅次于苜蓿干草（P<0.05），2 种高度禾王草干草的 72 h 降解率差异不显著（P>0.05），禾王草干草在前 24 h 的 DM 降解较快，之后较为平稳；羊草干草 72 h 的 DM 降解率也达到了 50%以上，但前 16 h 的降解速度较为缓慢，各时间点的降解率都显著低于其他干草（P<0.05）。在青贮中：全株玉米青贮 72 h 的 DM 降解率显著高于禾王草青贮（P<0.05），禾王草青贮在 8～16 h 的降解速率增加较快，2 种禾王草青贮的 DM 降解率在各个时间点差异均不显著（P>0.05）。

表 3 粗饲料在瘤胃不同时间点的 DM 降解率

Table 3 DM degradation rate of roughages in rumen at different time %

项目	取样时间点 Sampling time/h						
Items	4	8	16	24	36	48	72
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	22.80±2.06^{d}	32.57±0.58^{c}	45.22±1.52^{b}	58.48±2.10^{b}	65.77±0.52^{b}	66.22±0.91^{b}	67.54±2.31^{cd}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	22.13±0.58^{d}	32.92±1.34^{c}	44.29±2.43^{c}	56.86±0.96^{c}	64.48±1.58^{b}	65.04±3.23^{bc}	67.42±0.21^{d}

chinaXiv:201711.00410v1

羊草干草 Dried Chinese wildrye	15.04±1.28^{e}	21.28±0.44^{d}	30.02±0.23^{e}	37.84±2.29^{e}	47.26±0.36^{d}	53.67±1.35^{d}	58.41±2.86^{e}
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	33.95±0.35^{a}	42.40±2.11^{a}	54.07±1.31^{a}	62.41±0.42^{a}	68.31±1.47^{a}	70.59±0.40^{a}	72.04±2.38^{b}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	26.71±2.27^{c}	32.19±0.96^{c}	43.24±0.33^{d}	55.05±1.67^{d}	62.51±0.84^{c}	65.81±2.58^{bc}	70.42±1.67^{c}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	25.15±1.06^{c}	32.41±1.00^{c}	43.52±2.49^{d}	54.17±1.87^{d}	61.75±1.67^{c}	64.82±1.56^{c}	69.51±0.26^{c}
全株玉米青贮 Whole corn silage	31.44±0.37^{b}	40.18±0.81^{b}	45.18±1.18^{b}	54.78±0.93^{d}	60.71±0.57^{c}	64.84±0.83^{c}	74.02±1.73^{a}

由表 4 可知，各种粗饲料的 DM 降解参数存在很大差异。在干草中：DM 快速降解部分最高的是苜蓿干草，羊草干草的最低，2 种高度禾王草干草 DM 快速降解部分无显著差异（*P*<0.05）；4 种干草的 DM 慢速降解部分在 47%～55%之间；DM 有效降解率最高的是苜蓿干草，4 种干草之间差异显著（*P*<0.05）。在青贮中：全株玉米青贮的 DM 快速降解部分和有效降解率显著高于禾王草青贮（*P*<0.05），而慢速降解部分又显著低于禾王草青贮（*P*<0.05）；2.0 m 禾王草青贮的 DM 快速降解部分显著高于 2.5 m 禾王草青贮（*P*<0.05），有效降解率两者差异不显著（*P*>0.05）。

表 4 粗饲料的 DM 动态降解模型参数

Table 4 Parameters of DM dynamic degradation model of roughages %

项目 Items	a/%	b/%	c/(%/h)	a+b/%	ED/%
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	15.91±1.01^{d}	51.83±2.23^{d}	0.07±0.00^{b}	67.75±1.13^{f}	50.21±1.41^{d}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	16.77±0.26^{d}	52.51±1.23^{d}	0.05±0.00^{c}	69.28±0.46^{e}	48.75±0.72^{e}
羊草干草 Dried Chinese wildrye	10.78±1.34^{e}	54.97±0.52^{c}	0.03±0.00^{de}	65.74±1.18^{g}	37.65±0.36^{f}
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	24.22±0.43^{c}	47.21±2.31^{e}	0.07±0.01^{a}	71.43±0.74^{d}	56.93±1.33^{a}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	25.78±1.44^{b}	59.57±0.97^{b}	0.03±0.00^{ef}	85.35±0.88^{b}	53.12±0.51^{c}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	24.44±0.58^{c}	63.05±0.84^{a}	0.02±0.00^{f}	87.49±1.38^{a}	52.13±1.40^{c}
全株玉米青贮 Whole corn silage	27.22±1.49^{a}	55.13±1.15^{c}	0.03±0.00^{d}	82.35±0.57^{c}	54.60±0.62^{b}

a 为快速降解部分，b 为慢速降解部分，c 为慢速降解部分的降解速率，a+b 为潜在降解部分，ED 为有效降解率。表 6、表 8 和表 10 同。

a is the fraction of immediately degraded, b is the fraction of slowly degraded, c is the rate degradation of b (%/h), ED means effective degradability. The same as Table 6、Table 8 and Table 10.

2.3 CP 降解率

从表 5 可知，在干草中：羊草干草在各时间点的 CP 降解率均显著低于其他干草（*P*<0.05）；禾王草和苜蓿干草在 8 h 的 CP 降解率就超过了 50%，2.0 m 禾王草干草和苜蓿干草 24 h 时 CP 降解率均大于 70%，2 种高度禾王草干草 72 h 时 CP 降解率差异不显著（*P*>0.05）。在青贮中：4 h 时 3 种青贮的 CP 降解率差异不显著（*P*>0.05），24 h 时禾王草青

chinaXiv:201711.00410v1

贮的 CP 降解率接近 70%，之后禾王草青贮的 CP 降解速度平稳增长，72 h 时禾王草青贮的 CP 降解率显著高于全株玉米青贮（P>0.05）。

表 5　粗饲料在瘤胃不同时间点的 CP 降解率

Table 5　CP degradation rate of roughages in rumen at different time　　　%

项目	取样时间点 Sampling time/h						
Items	4	8	16	24	36	48	72
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	35.02±1.54^{b}	50.49±0.42^{cd}	62.83±1.64^{c}	71.51±2.18^{b}	74.20±1.31^{b}	75.09±0.82^{c}	75.42±1.39^{c}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	33.65±0.72^{c}	50.87±3.27^{cd}	62.74±2.04^{bc}	69.49±0.57^{b}	71.61±1.09^{c}	73.06±1.12^{d}	73.34±2.24^{c}
羊草干草 Dried Chinese wildrye	27.63±1.65^{d}	32.62±0.57^{e}	41.85±2.51^{e}	48.00±1.51^{d}	53.00±3.69^{e}	58.68±1.97^{f}	64.96±2.49^{d}
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	43.15±2.51^{a}	54.97±1.53^{a}	66.43±1.75^{a}	77.61±2.44^{a}	81.89±2.84^{a}	85.98±1.78^{a}	86.93±2.65^{a}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	45.11±2.48^{a}	52.57±1.46^{b}	64.43±0.81^{b}	70.04±2.16^{b}	74.69±0.60^{b}	77.03±1.54^{b}	78.15±1.24^{b}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	44.16±3.15^{a}	51.14±1.09^{c}	62.88±1.11^{c}	69.48±1.31^{b}	73.82±0.85^{b}	75.74±1.42^{bc}	77.03±0.56^{b}
全株玉米青贮 Whole corn silae	45.51±0.54^{a}	50.25±0.95^{d}	57.16±2.30^{d}	61.77±0.55^{c}	67.02±2.26^{d}	71.53±0.43^{e}	73.19±0.40^{c}

由表 6 可知，在干草中：苜蓿干草的 CP 快速降解部分为 29.05%，显著高于其他干草（P<0.05），2.5 m 禾王草干草的 CP 慢速降解部分显著高于其他干草（P<0.05），羊草干草的 CP 有效降解率显著低于其他干草（P<0.05），2 种高度禾王草干草 CP 有效降解率差异不显著（P>0.05）。在青贮中：2.0 m 禾王草青贮的 CP 快速降解部分显著高于其他青贮（P<0.05），2 种高度禾王草青贮 CP 有效降解率差异不显著（P>0.05），均显著高于全株玉米青贮（P<0.05）。

表 6　粗饲料的 CP 动态降解模型参数

Table 6　Parameters of CP dynamic degradation model of roughages　　　%

项目 Items	a/%	b/%	c/(%/h)	a+b/%	ED/%
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	23.48±0.54^{d}	58.44±0.71^{b}	0.07±0.01^{b}	81.92±1.24^{d}	63.35±1.69^{c}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	21.34±0.57^{e}	61.63±1.79^{a}	0.06±0.00^{c}	82.98±0.27^{cd}	61.98±0.38^{c}
羊草干草 Dried Chinese wildrye	19.21±1.51^{f}	46.98±1.56^{c}	0.04±0.01^{e}	66.19±1.05^{f}	45.57±2.86^{d}
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	29.05±0.55^{c}	59.13±0.53^{b}	0.08±0.00^{a}	88.18±0.39^{a}	71.03±0.67^{a}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	42.93±1.61^{a}	42.29±1.56^{d}	0.06±0.00^{c}	85.22±1.02^{b}	70.87±1.02^{ab}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	40.79±0.72^{b}	43.38±0.63^{d}	0.06±0.00^{cd}	84.18±0.81^{bc}	69.01±0.46^{b}
全株玉米青贮 Whole corn silage	40.21±1.47^{b}	35.07±2.38^{e}	0.05±0.00^{d}	75.28±1.95^{e}	62.18±0.74^{c}

2.4　NDF 降解率

由表 7 可知，在干草中：72 h 时 2.0 m 禾王草干草 NDF 降解率显著高于 2.5 m 禾王草干草（P<0.05），与苜蓿干草差异不显著（P>0.05）；羊草干草在 48 h 以前的 NDF 降解率均低于其他干草，但 72 h 时却高于其他干草；苜蓿干草在 24 h 以前 NDF 降解速度快，禾王草干

chinaXiv:201711.00410v1

草的 NDF 在 16～24 h 之间降解速度最快。在青贮中：4 h 时，3 种青贮的 NDF 降解率均较低，24 h 时，全株玉米青贮 NDF 降解率达到 38.16%，显著高于禾王草青贮（*P*<0.05）；禾王草青贮在 24 h 以前保持着平稳的增长速度，24～36 h 之间增速最快，72 h 时 NDF 降解率与全株玉米青贮差异不显著（*P*>0.05）。

表 7　粗饲料在瘤胃不同时间点的 NDF 降解率

Table 7　NDF degradation rate of roughages in rumen at different time　　%

项目 Items	取样时间点 Sampling time/h 4	8	16	24	36	48	72
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	10.45±1.42[b]	15.24±1.11[ab]	21.35±0.89[bc]	37.55±1.54[b]	46.80±2.21[ab]	51.94±1.33[a]	54.58±0.46[bc]
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	9.96±2.15[b]	16.02±2.05[ab]	21.56±0.50[bc]	36.61±2.57[b]	43.66±1.63[c]	49.50±2.54[b]	52.55±1.72[d]
羊草干草 Dried Chinese wildrye	6.30±2.37[c]	12.67±0.58[d]	19.88±1.34[d]	30.58±3.34[c]	41.27±0.67[d]	46.88±1.40[c]	56.17±2.38[b]
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	11.79±2.20[a]	16.93±1.64[a]	24.00±1.60[a]	41.95±0.29[a]	47.03±0.39[a]	51.69±0.57[a]	53.87±0.54[c]
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	6.03±3.11[c]	14.60±2.23[b]	22.05±2.69[ab]	24.33±1.26[d]	42.27±2.50[c]	51.17±0.50[a]	61.77±2.22[a]
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	6.54±0.51[c]	13.64±0.48[c]	20.58±0.67[cd]	24.26±0.93[d]	40.75±0.74[d]	49.84±1.06[b]	60.17±0.46[a]
全株玉米青贮 Whole corn silage	6.38±1.43[c]	12.22±1.37[d]	22.53±2.34[a]	38.16±2.26[b]	45.86±1.50[b]	52.25±0.56[a]	62.22±3.31[a]

由表 8 可知，所有粗饲料的 NDF 快速降解部分都很低，全株玉米青贮最高，也仅为 1.38%；苜蓿干草的 NDF 慢速降解部分显著低于其他粗饲料（*P*<0.05）；禾王草青贮和全株玉米青贮的 NDF 有效降解率差异不显著（*P*>0.05），2.5 m 禾王草干草的 NDF 有效降解率最低，为 30.60%。

表 8　不同粗饲料的 NDF 动态降解模型参数

Table 8　Parameters of NDF dynamic degradation model of roughages　　%

项目 Items	a/%	b/%	c/(%/h)	a+b/%	ED/%
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	0.44±0.07[c]	60.04±0.70[c]	0.03±0.00[d]	60.48±0.76[c]	31.98±0.70[cd]
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	0.57±0.09[c]	60.74±1.36[c]	0.03±0.00[e]	61.31±1.44[c]	30.60±1.07[d]
羊草干草 Dried Chinese wildrye	0.56±0.07[c]	63.99±0.58[b]	0.03±0.00[de]	64.55±0.52[b]	32.53±1.17[bc]
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	1.04±0.07[ab]	49.45±0.60[e]	0.05±0.00[a]	50.49±1.56[e]	32.00±1.12[cd]
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	0.79±0.14[bc]	56.33±1.69[d]	0.05±0.00[b]	57.12±0.74[d]	34.73±0.59[a]
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	1.21±0.25[a]	56.92±1.46[d]	0.04±0.00[c]	58.13±0.71[d]	33.96±0.84[ab]
全株玉米青贮 Whole corn silage	1.38±0.44[a]	82.86±2.62[a]	0.02±0.00[f]	84.24±2.27[a]	34.82±0.76[a]

2.5　ADF 降解率

由表 9 可知，4 h 时 2.5 m 禾王草青贮的 ADF 降解率最高，为 11.50%，全株玉米青贮的最低，为 6.43%；4～16 h 之间，禾王草青贮和苜蓿干草的 ADF 降解速度较快，苜蓿干草在 36 h 以后增长较慢；72 h 时，禾王草青贮的 ADF 降解率显著高于其他粗饲料（*P*<0.05），苜

chinaXiv:201711.00040v1

蓿干草和禾王草干草处于较低水平，在 47%～50%之间。

表 9　粗饲料在瘤胃不同时间点的 ADF 降解率

Table 9　ADF degradation rate of roughages in rumen at different time　　%

项目 Items	取样时间点 Sampling time/h 4	8	16	24	36	48	72
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	7.82±1.19^{b}	12.84±1.43^{c}	20.80±1.47^{cd}	33.19±2.40^{b}	39.04±2.29^{bc}	44.95±2.66^{d}	49.24±1.62^{d}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	7.20±0.32^{b}	11.55±0.55^{d}	18.51±3.31^{de}	30.96±0.65^{b}	37.37±1.59^{c}	44.24±1.65^{de}	48.33±2.38^{de}
羊草干草 Dried Chinese wildrye	7.45±1.33^{b}	9.22±1.29^{e}	17.20±1.33^{e}	29.98±1.50^{cd}	39.40±0.68^{b}	48.89±1.35^{c}	52.86±0.62^{c}
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	7.69±0.55^{b}	15.01±2.39^{c}	22.20±0.46^{c}	33.61±1.61^{c}	40.84±1.37^{b}	43.50±0.63^{e}	47.15±0.56^{e}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	10.46±1.48^{a}	18.11±1.44^{b}	30.47±1.70^{a}	36.48±1.37^{a}	42.76±2.48^{a}	50.63±0.90^{b}	57.40±1.42^{a}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	11.50±2.49^{a}	20.42±0.96^{a}	31.75±0.90^{a}	37.02±2.17^{a}	44.73±0.78^{a}	52.39±0.24^{a}	58.00±0.51^{a}
全株玉米青贮 Whole corn silage	6.43±0.54^{c}	13.74±2.41^{c}	24.80±1.22^{b}	28.96±0.64^{d}	34.22±1.44^{d}	42.20±0.77^{f}	56.21±0.76^{b}

由表 10 可知，禾王草青贮的 ADF 快速降解部分显著高于其他粗饲料（P<0.05），羊草干草的最低，为 0.98%；2.5 m 禾王草青贮的 ADF 慢速降解部分最高，为 77.49%，苜蓿干草显著低于其他粗饲料（P<0.05）；所有粗饲料的 ADF 潜在降解部分在 46%～84%之间；2.5 m 禾王草青贮 ADF 有效降解率显著高于其他粗饲料（P<0.05）。

表 10　粗饲料的 ADF 动态降解模型参数

Table 10　Parameters of ADF dynamic degradation model of roughages　　%

项目 Items	a/%	b/%	c/(%/h)	a+b/%	ED/%
2.0 m 禾王草干草 2.0 m *Pennisetum* sp. hay	2.32±0.17^{c}	60.31±1.61^{d}	0.03±0.00^{b}	62.63±0.72^{f}	31.63±0.91^{c}
2.5 m 禾王草干草 2.5 m *Pennisetum* sp. hay	1.71±0.29^{d}	63.94±0.82^{c}	0.03±0.00^{bc}	65.65±1.09^{e}	32.03±1.07^{c}
羊草干草 Dried Chinese wildrye	0.98±0.14^{e}	71.54±1.90^{b}	0.02±0.00^{d}	72.51±1.04^{d}	31.94±0.64^{c}
苜蓿干草 Dried alfalfa hay	2.77±1.01^{c}	46.91±2.56^{e}	0.05±0.00^{a}	46.98±2.87^{g}	30.93±1.64^{c}
2.0 m 禾王草青贮 2.0 m *Pennisetum* sp. silage	5.37±1.18^{a}	72.83±1.21^{b}	0.02±0.00^{d}	78.20±1.30^{b}	36.56±2.31^{b}
2.5 m 禾王草青贮 2.5 m *Pennisetum* sp. silage	5.79±1.29^{a}	77.49±1.59^{a}	0.02±0.00^{cd}	83.27±1.88^{a}	40.11±1.39^{a}
全株玉米青贮 Whole corn silage	3.88±1.13^{b}	71.08±1.39^{b}	0.02±0.00^{e}	74.95±1.47^{c}	31.15±1.09^{c}

3　讨　论

3.1　粗饲料的营养成分

饲料的品种、收割时间、种植环境以及加工方式等都会影响饲料的营养价值。在本试验中，4 种干草的 DM 含量差异不大，均在 93%左右，而 CP 和 NDF 含量差异很大，这与前人研究结果一致[10]。苜蓿干草 CP 含量高达 19.07%，而 NDF 含量只有 46.48%，因而具有较高的 RFV。2.0 m 禾王草干草 CP 含量高于 2.5 m 干草，NDF 含量低于 2.5 m 干草。余汝华等[11]研究表明，玉米秸秆 NDF 含量随生长期延长而增加，与本试验结果一致，这与收割时

chinaXiv:201711.00410v1

期有关。

禾王草青贮的 DM 含量显著低于全株玉米青贮，这可能跟禾王草含水量高有关；2.5 m 禾王草青贮 CP 含量比全株玉米青贮提高了 44.71%，禾王草收割早，叶片较多，因而保存了较高的蛋白质含量；禾王草青贮与禾王草干草相比，NDF 和 ADF 含量较低，CP 含量变化不大，RFV 较高，说明青贮过程改善了禾王草的纤维性质，提高了营养价值。

3.2　不同粗饲料的 DM 降解特性

合适的干物质采食量（DMI）对反刍动物维持健康以及满足自身需求十分重要。DM 瘤胃降解率是影响奶牛 DMI 的一个重要因素，DM 降解率越高，奶牛 DMI 就越大。不同粗饲料的 DM 降解率均随着培养时间的延长而增加，但是不同的粗饲料其增加的幅度不同。对 4 种干草而言，在本试验中，苜蓿干草 72 h 的 DM 降解率最高，夏科等[4]研究结果与本试验一致；2.0 和 2.5 m 禾王草干草 72 h 时 DM 降解率也达到了 67%以上，显著高于羊草干草，在各时间点禾王草干草的降解率均高于羊草干草，这说明禾王草干草比羊草干草更容易消化，2.0 m 禾王草干草 24 h 时 DM 降解率就达到 58.48%，之后稳定上升，说明禾王草干草的降解同苜蓿干草一样，主要是在 24 h 以内降解，2.0 m 禾王草干草 72 h 时 DM 降解率略高于 2.5 m 干草，这可能是因为 2.5 m 禾王草收获较晚，植株成熟度高，植物的细胞内容物增加，细胞壁含量降低导致 DM 降解率低。

在青贮中，全株玉米青贮 72 h 时 DM 降解率贮为 74.02%，低于夏科等[4]测定结果，这可能跟饲料原料来源以及动物生理状态有关。禾王草青贮的有效降解率高于禾王草干草，这说明禾王草青贮既能保持营养价值，还能改善适口性，提高消化率。3 种青贮的起始 DM 降解率较高，72 h 降解率也高，从动态变化来看，随着培养时间的延长，DM 降解率一直平稳上升。从上述数据可以预测，禾王草干草的 DMI 可能要高于羊草干草，禾王草青贮的 DMI 与全株玉米青贮差别不大。

3.3　不同粗饲料的 CP 降解特性

饲料 CP 在瘤胃中的降解主要在于饲料在瘤胃内的滞留时间以及发酵的难易程度，饲料 CP 的组成和真蛋白质的含量等也会影响 CP 的降解率[12]。本试验中，苜蓿干草和羊草干草的有效降解率分别为 71.03%和 45.57%，与前人研究结果基本相似[4]，4 种干草中，苜蓿干草 CP 含量最高，其在各时间点的降解率和有效降解率也最高，在瘤胃中能较好利用。禾王

chinaXiv:201711.00410v1

草干草的 CP 含量高于羊草干草，低于苜蓿干草，其有效降解率也表现出同样的规律，这可能说明干草的 CP 降解率与 CP 含量有关。

青贮类饲料中，禾王草青贮 72 h 的 CP 降解率和有效降解率均高于全株玉米青贮，这可能是因为禾王草青贮的 CP 含量高于全株玉米青贮，在试验中，禾王草青贮的 CP 降解率在 24 h 时达到 70%，说明禾王草青贮的 CP 降解主要发生在 24 h 以内。禾王草青贮的 CP 有效降解率高于禾王草干草，说明禾王草经发酵后能改善禾王草的蛋白质特性，姚庆等[13]研究发现，玉米秸秆经发酵后，其 CP 瘤胃降解率显著提高，这与本试验结果一致。从本试验结果可以看出，牧草的 CP 降解率受饲料本身性质影响很大，饲料蛋白质分为快速、慢速和不易降解 3 个部分，不同的饲料各部分比例不同[14]，其中慢速降解部分和有效降解率能显著影响饲料的营养价值，在试验中，青贮快速降解部分高于苜蓿干草，但其慢速降解部分低于苜蓿干草，因而 CP 有效降解率低于苜蓿干草。

3.4　不同粗饲料的 NDF 和 ADF 降解特性

粗饲料中的纤维对奶牛瘤胃发酵具有重要作用，NDF 和 ADF 的瘤胃降解率是衡量粗饲料营养价值的重要指标，提高 NDF 的降解率会对奶牛的 DMI 和产奶量有一定的促进作用。NDF 由纤维素、半纤维素和木质素组成，其中木质素不被微生物利用，因而纤维在瘤胃中的消化主要受木质素的影响，饲料中的 ADF 主要由纤维素和木质素组成，不同饲料原料的 NDF 和 ADF 在瘤胃中的有效降解率不同[15]。夏科等[4]研究指出，玉米秸青贮的 NDF 降解率高于玉米秸秆，表明经青贮后，饲料的营养成分可降解性提高，这与本试验结果禾王草青贮的 NDF 有效降解率高于禾王草干草一致，贾海军[16]、宋伟红等[17]也证实秸秆经青贮后，其营养成分的可降解性会得到提高。从动态变化趋势看，青贮饲料的 NDF 和 ADF 降解率在 24 h 之前普遍较低，72 h 降解率较高，说明青贮类饲料的 NDF 和 ADF 降解主要发生在 24h 以后。

在试验中，2.0 m 禾王草干草的 NDF 有效降解率高于 2.5 m 干草，这是因为 NDF 是细胞壁的组成部分，随着植株的成熟，含量逐渐增加，含有的可消化成分降低。裘燕[15]研究表明，苜蓿干草的 ADF 有效降解率大于羊草干草，这与本试验结果不一致，可能跟试验动物以及饲料来源等因素有关。本试验中禾王草干草和羊草干草的 NDF、ADF 慢速降解部分高于苜蓿干草，但降解速率却低于苜蓿干草，这与 Hoffman 等[18]研究结果一致。Jung 等[19]

chinaXiv:201711.00410v1

也曾指出禾本科牧草的潜在可降解纤维成分高于豆科牧草，但降解速率低于豆科牧草，这与本试验结果一致。相对于禾本科牧草，豆科牧草 NDF 慢速降解部分降解速度快，但不能降解部分也多，因此与禾本科牧草 NDF 降解率相近。ADF 是粗饲料中最难消化的部分，木质素几乎不被瘤胃微生物降解，因此粗饲料的 ADF 降解率普遍偏低。

4 结 论

① 禾王草干草、羊草干草和苜蓿干草均随着培养时间的延长，DM、CP、NDF 和 ADF 降解率随之上升，48～72 h 降解速率趋于平稳；禾王草干草的 DM 和 CP 降解率较高，有效降解率显著高于羊草干草。

② 禾王草青贮的 CP 和 ADF 有效降解率显著高于全株玉米青贮；禾王草青贮后能提高营养成分瘤胃利用效率。

参考文献：

[1] 李胜利,范学珊.奶牛饲料与全混合日粮饲养技术[M].北京:中国农业出版社,2011:6–14.

[2] KAUR R,GARCIA S C,FULKERSON W J,et al.Degradation kinetics of leaves,petioles and stems of forage rape (*Brassica napus*) as affected by maturity[J].Animal Feed Science and Technology,2011,168(3/4):165–178.

[3] 张颖,毛华明.不同牧草在黄牛瘤胃内的降解特性[J].中国饲料,2011(5):14–16,23.

[4] 夏科,姚庆,李富国,等.奶牛常用粗饲料的瘤胃降解规律[J].动物营养学报,2012,24(4):769–777.

[5] 陈艳,张晓明,王之盛,等.6 种肉牛常用粗饲料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J].动物营养学报,2014,26(8):2145–2154.

[6] GETACHEW G,ROBINSON P H,DEPETERS E J,et al.Relationships between chemical composition,dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds[J].Animal Feed Science and Technology,2004,111(1/2/3/4):57–71.

[7] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:56–56,67–78.

[8] ØRSKOV E R,MCDONALD I.The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage[J].The Journal of

chinaXiv:201711.00410v1

chinaXiv:201711.00410v1

Agricultural Science,1979,92(2):499–503.

[9] 宫福臣,韩梅琳,杨琼,等.菌糠与奶牛常用粗饲料瘤胃降解特性的对比研究[J].动物营养学报,2013,25(6):1366–1374.

[10] 陈晓琳.肉羊常用粗饲料营养价值和瘤胃降解特性研究[D].硕士学位论文.青岛:青岛农业大学,2014:6.

[11] 余汝华,赵丽华,莫放,等.玉米秸秆青贮饲料中NDF与ADF含量变化规律的研究[J].饲料工业,2003,24(10):19–20.

[12] 张力莉,徐晓峰,金曙光.豆粕蛋白质和玉米蛋白粉蛋白质在绵羊瘤胃内降解规律的比较研究[J].黑龙江畜牧兽医,2010(7):97–98.

[13] 姚庆,张永根,王明君,等.酒精清液发酵玉米秸秆、全株玉米青贮和玉米秸秆瘤胃降解率的研究[J].中国畜牧杂志,2013,49(3):56–60.

[14] SATTER L D.Protein supply from undegraded dietary protein[J].Journal of Dairy Science,1986,69(10):2734–2749.

[15] 裘燕.奶牛常用粗饲料的营养成分及其瘤胃降解率与体外发酵特性[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2013:5.

[16] 贾海军.奶牛常用饲草瘤胃降解规律的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2010:6.

[17] 宋伟红,韩欢胜,刘立成,等.北方肉牛常用粗饲料主要营养成分瘤胃有效降解率[J].中国牛业科学,2012,38(6):31–33.

[18] HOFFMAN P C,SIEVERT S J,SHAVER R D,et al.*In situ* dry matter,protein,and fiber degradation of perennial forages[J].Journal of Dairy Science,1993,76(9):2632–2643.

[19] JUNG H G,ALLEN M S.Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants[J].Journal of Animal Science,1995,73(9):2774–2790.

[20] 王立明,闫素梅,牛峰,等.几种主要粗饲料的瘤胃降解特性比较研究[J].饲料工业,2013,34(1):38–42.

Comparison of Rumen Degradation Characteristics between *Pennisetum* sp. and Commonly Used Roughages for Dairy Cows

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.00410v1

MA Jian[1,2] LIU Yanfang[1] DU Yun[2] LI Shengli[2*] YU Xiong[1*]

（1. *College of Animal Science and Technology*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to determine the rumen degradation characteristics of 7 kinds of roughages including 2 kinds of *Pennisetum* sp. hay (different cutting height), 2 kinds of *Pennisetum* sp. silage (different cutting height), dried Chinese wildye, dried alfalfa hay and whole corn silage. Four Holstein cows with permanent ruminal cannulas were used. Nylon-bag technique was used to evaluate the ruminal degradability of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). The results showed as follows: 1) the contents of CP in *Pennisetum* sp. hay was significantly high than that in dried Chinese wildye (P<0.05), but compare with the dried Chinese wildye, the content of NDF was significantly reduced (P<0.05); the contents of CP and NDF in *Pennisetum* sp. silage were significantly high than those in whole corn silage (P<0.05). 2) The DM effective degradability of dried alfalfa hay was significantly higher than that of whole corn silage, 2.0 m *Pennisetum* sp. sliage, 2.5 m *Pennisetum* sp. silage, 2.0 m *Pennisetum* sp. hay, 2.5 m *Pennisetum* sp. hay and dried Chinese wildye (P<0.05), which was decreased in the above order, and dried Chinese wildye was significantly lower than others (P<0.05); CP effective degradability of dried alfalfa hay was not significantly different from 2.0 m *Pennisetum* sp. silage (P>0.05), but was significantly higher than that of 2.5 m *Pennisetum* sp. silage, 2.0 m *Pennisetum* sp. hay, whole corn silage, 2.5 m *Pennisetum* sp. hay and dried Chinese wildye (P<0.05), which was decreased in the above order; NDF effective degradability of whole corn silage was not significantly different from *Pennisetum* sp. silage (P>0.05)， and was significantly higher than that of other roughages (P<0.05); ADF effective degradability of *Pennisetum* sp. silage at 72 h was significantly higher than that of other roughers (P<0.05). It is concluded that *Pennisetum* sp. has a potential as a new non-conventional feed resource for ruminants, silage can save the nutrition composition, and can improve the rumen

---

*Corresponding authors: LI Shengli, professor, E-mail: lisheng0677@163.com; YU Xiong, professor, E-mail: yuxiong8763601@126.com (责任编辑　王智航)

ChinaXiv合作期刊

degradation of nutrition composition.

Key words: *Pennisetum* sp.; nutrition composition; nylon-bag technique; rumen degradation rate

chinaXiv:201711.00410v1